

PRVPATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET
Patentavdelningen

RECEIVED

19 JAN 2004

WIPO

PCT

**Intyg
Certificate**

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.



(71) Sökande ABB AB, Västerås SE
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0300409-0
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2003-02-13
Date of filing

Stockholm, 2004-01-09

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office

Lisa Junegren

Avgift
Fee

BEST AVAILABLE COPY

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Referens: SE 400 261 AMR

Sökande: ABB AB

5 METOD OCH SYSTEM FÖR ATT PROGRAMMERA EN INDUSTRIROBOT

TEKNISKT OMRÅDE OCH TIDIGARE TEKNIK

- 10 Föreliggande uppfinning avser en metod, ett system, ett datorprogram och ett datorläsbart medium innefattande ett datorprogram för att programmera en industrirobot att förflytta sig relativt definierade positioner på ett objekt, varvid programmeringen baserar sig på en geometrisk modell av objektet. Objektet kan antingen vara ett arbetsobjekt, en fixtur, ett gripdon eller ett verktyg. Uppfinningen är särskilt användbar i samband med programmering av en robotbana innefattande ett antal definierade positioner på objektet, till exempel för målning, slipning, fräsning, svetsning eller limning. Emellertid är uppfinningen även tillämplig för programmering av enskilda positioner, till exempel för punktsvetsning eller objektgripning.

- 25 Det är känd teknik att programmera en industrirobot med användning av en CAD-modell av objektet. Robotbanans positioner erhålls från CAD-modellen. Dessa positioner måste emellertid korrigeras med avseende på geometriska och kinematiska fel hos roboten, verktyget och arbetsobjektet. Exempel på sådana fel är avvikelser mellan det verkliga objektet och modellen, fel i roboten placering relativt omgivningen, armlängdfel, axelattitydfel och axeloffsetfel hos roboten. För att utföra en sådan korrigering idag måste roboten vara kalibrerad med hög noggrannhet.

- 35 Ett stort problem vid dagens robotanvändning är robotnoggrannheten. Att bygga en högprecisionsrobot där varje komponent är noggrant uppmätt och där robotens kinematikparametrar kalibreras med lasermätsystem blir mycket dyrt. Kalibrering med laser- och kameramätsystem används dock i viss utsträckning, men en-

dast av större biltillverkare som har ekonomi och personal att klara av denna komplexa teknik. Så länge det inte finns en enkel och billig metod att kalibrera och programmera industrirobotar kommer dessa endast att kunna användas i företag med tillräckliga finansiella och personella resurser.

ÄNDAMÅL OCH SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

Ändamålet med föreliggande uppfinning är att tillhandahålla en metod och ett system som gör det enkelt att kalibrera och programmera en robot.

Enligt en aspekt av uppfinningen uppnås detta ändamål med en metod som kännetecknas av att den innefattar att ett flertal mätpunkter registreras och lagras, varvid var och en av mätpunkterna motsvarar en punkt på det verkliga objektets yta uttryckt i något till roboten kopplat koordinatsystem. Orientering och position hos en geometrisk modell av det aktuella objektet relativt nämnda till roboten kopplade koordinatsystem bestäms genom att den geometriska modellen av objektet och mätpunkterna anpassas till varandra. För åtminstone några av mätpunkterna beräknas avvikelser mellan mätpunkterna och motsvarande punkter på den geometriska modellen, och nämnda definierade positioner justeras baserat på nämnda beräknade avvikelser. Mätpunkterna motsvarar robotens positioner när en förutbestämd punkt på ett verktyg, eller ett mätorgan som motsvarar aktuellt verktyget, står i kontakt med olika punkter på objektets ytor.

Genom att anpassa uppmätta värden för det verkliga objektet till en geometrisk modell av objektet och sedan korrigera positionerna som roboten ska förflytta sig till i beroende av avvikelserna mellan de uppmätta värdena och modellen är det möjligt att kompensera en robotbana för samtliga geometriska och kinematiska fel i en robotcell. Både kalibrering och programmering görs med en intuitiv metod utan att något robotprogram behöver skrivas eller visas för operatören. Några extra mätutrustningar för uppmätning av kinematikfel, verktygskoordinatsystem och objektko-

ordinatsystem behövs inte. I stället använder operatören roboten för uppmätningen och uppmätningen är mycket enkel, operatören pekar endast med verktyget eller ett särskilt anpassat mätorgan på olika ytor och/eller kanter hos det föremål som skall kalibreras. Robotprogrammen kan sedan genereras automatiskt av ett CAD-system eller matas in med "lead through" av operatören. "Lead through" innebär att operatören helt enkelt för verktyget i de banor som roboten sedan skall exekvera. Metoden kan även användas för programmering av fixturer, conveyrar och andra manipulatorer som skall samarbeta med roboten.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen innefattar metoden att för ett antal olika delar av objektet beräknas en eller flera karakteristiska parametrar baserat på den geometriska modellen för objektet. Till vilken del av objektet en mätpunkt tillhör bestäms baserat på nämnda karakteristiska parametrar, och nämnda anpassning av den geometriska modellen av objektet till mätpunkterna innefattar att mätpunkter som tillhör en viss del av objektet anpassas till motsvarande del hos den geometriska modellen. Med fördel innefattar nämnda delar ytor och kantlinjer hos objektet. Med fördel innefattar nämnda karakteristiska parametrar normalens riktningen relativt objektets yta och krökningen hos objektets yta. Med fördel anpassas den geometriska modellen av objektet och mätpunkterna till varandra genom att avståndet mellan mätpunkterna och motsvarande punkter på den geometriska modellen av objektet minimeras. Genom att först bestämma vilken del av objektet som varje mätpunkt tillhör och sedan anpassa en del i taget underlättas anpassningen.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen innefattar metoden att geometriska modeller för ett antal olika objekt tillhandahålls, för vart och ett av objekten beräknas ett antal karakteristiska parametrar baserat på den geometriska modellen för objektet, och till vilket av objekten mätpunkterna tillhör bestäms baserat på mätpunkterna och nämnda karakteristiska parametrar. Med fördel innefattar nämnda karakteristiska parametrar normalens riktningen relativt objektets yta och krökningen hos objektets

yta. På så sätt identifierar systemet automatiskt objektet och avgör vilken geometrisk modell som ska användas vid programmeringen. I en alternativ utföringsform matar operatören själv in vilket objekt som ska användas vid programmeringen.

5

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen delas objektets ytor in i ett flertal delytor, var och en innehållande åtminstone en mätpunkt, för delytorna beräknas en korrektionsvektor baserat på avvikelserna mellan mätpunkten/mätpunkterna i delytan och motsvarande punkt/punkter på den geometriska modellen av objektet, och att nämnda definierade positioner justeras baserat på korrektionsvektorerna för de delytor som positionerna tillhör. Med fördel beräknas korrektionsvektorn för en delyta i form av ett medelvärde av avvikelserna för alla mätpunkterna i delytan. En
10 fördel med att dela in ytorna i delytor och att utnyttja flera mätvärden för att beräkna en korrektionsvektor för varje delyta är att brus och tillfälliga variationer i mätvärdena filtreras bort.

20

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen delas objektets kantlinjer upp i ett flertal linjesegment, som vart och ett innehåller åtminstone en mätpunkt, för linjesegmenten beräknas en korrektionsvektor baserat på avvikelserna mellan mätpunkten/mätpunkterna i linjesegment och motsvarande punkt/punkter på den geometriska modellen av objektet, och att nämnda definierade positioner justeras baserat på korrektionsvektorerna för linjesegment i närheten av de definierade positionerna. Med fördel beräknas korrektionsvektorn för ett linjesegment i form av ett medelvärde av avvikelserna för alla mätpunkter som ligger på linjesegmentet. En fördel med att dela in kantlinjerna i linjesegment
25 och utnyttja flera mätvärden för att beräkna en korrektionsvektor för varje delyta är att brus och tillfälliga variationer i mätvärdena filtreras bort.

30

35

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är nämnda definierade positioner definierade relativt den geometriska modellen och de definierade positionerna transformeras till nämnda till roboten kopplade koordinatsystemet baserat på den bestämda

orienteringen och positionen av den geometriska modellen relativt det till roboten kopplade koordinatsystemet. I en utföringsform av uppfinningen sker definieringen av positionerna som roboten ska genomlöpa i ett CAD-system och positionerna läggs ut på modellen av objektet. Positionerna är således definierade i objektkoordinatsystemet. För att det ska vara möjligt att programmera roboten så att den förflyttar sig till dessa positioner måste positionerna transformeras till något koordinatsystem som är kopplat till roboten. Denna transformation ges av den tidigare bestämda orienteringen och positionen av den geometriska modellen relativt det till roboten kopplade koordinatsystemet.

Enligt ytterligare en aspekt av uppfinningen uppnås detta ändamål med ett datorprogram direkt inladdningsbart i en dators internminne, innefattande instruktioner för att påverka en processor att utföra stegen i förfarandet enligt uppfinningen när nämnda datorprogram körs på datorn. Datorprogrammet tillhandahålls exempelvis på ett datorläsbart medium eller via ett nätverk såsom Internet. Ett datorprogram enligt uppfinningen kan antingen exekveras av en processor i robotens styrsystem, i CAD-systemet eller i en separat dator.

Enligt ytterligare en aspekt av uppfinningen uppnås detta ändamål med ett datorläsbart medium innefattande ett datorprogram innefattande instruktioner för att påverka en processor att utföra stegen i förfarandet enligt uppfinningen när nämnda datorprogram körs på datorn.

Enligt ytterligare en aspekt av uppfinningen uppnås detta ändamål med ett system för att programmera en industrirobot att förflytta sig relativt definierade positioner på ett objekt, varvid systemet innefattar en geometrisk modell av objektet, som kännetecknas av att systemet vidare innefattar det verkliga objektet, en industrirobot, varvid det verkliga objektet och roboten är anordnade så att det är möjligt att medelst roboten generera ett flertal mätpunkter motsvarande olika punkter på det verkliga objektets yta uttryckt i ett till roboten kopplat koordinatsystem, en kalibre-

- 5 ringsmodul anordnad att bestämma den geometriska modellens orientering och position relativt nämnda till roboten kopplade koordinatsystem medelst anpassning av mätpunkterna till den geometriska modellen av objektet, en beräkningsmodul anordnad för beräkning av avvikelser mellan mätpunkterna och motsvarande punkter på den geometriska modellen, och en justeringsmodul anordnad att justera nämnda definierade positioner baserat på nämnda beräknade avvikelser.
- 10 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen innefattar systemet ett mätorgan anpassat för att vid mätning stå i kontakt med objektets yta, varvid mätorganet har en centrpunkt som motsvarar verktygscentrumpunkten (TCP) för aktuellt verktyg. För att underlätta mätningen innefattar systemet ett mätorgan, exempelvis i form av en mätspets, som under mätningen antingen ersätter verktyget eller sätts på verktyget. Mätorganets TCP (Tool center point) skall vara densamma som verktygets TCP.
- 15
- 20 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är mätorganet är inrättat att vid kontakt med objektet avge en signal och att systemet är inrättat att som svar på denna signal generera åtminstone en mätpunkt baserat på robotens position. För att underlätta mätningen genereras en signal när mätorganet är i kontakt med objektets yta, varvid robotens position avläses vid kontakt
- 25 mellan mätorganet och objektets yta.

KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

- 30 Föreliggande uppfinning ska nu förklaras med hjälp av olika såsom exempel beskrivna utföringsformer och med hänvisning till de bifogade ritningarna.

Figur 1 visar ett system för att programmera en industrirobot enligt en utföringsform av uppfinningen

35

Figur 2 visar ett blockdiagram över systemet enligt en utföringsform av uppfinningen.

Figur 3 visar exempel på definitioner för objektklassificering och mätpunktsklassificering.

5 Figur 4 illustrerar klassificeringsmodulens funktion.

Figur 5 illustrerar kalibreringsmodulens funktion.

Figurerna 6-10 visar justeringsmodulens funktion.

10

Figur 11 visar ett exempel på programmeditering.

Figur 12 visar ett utföringsexempel med rumsfast TCP.

15 Figur 13 visar verktygskallibrering.

Figur 14 visar ett exempel för applikationen bågsvetsning.

20 DETALJERAD BESKRIVNING AV FÖREDRAGNA UTFÖRINGSFORMER

Figur 1 visar ett exempel på ett system för programmering av en industrirobot enligt uppfinningen. Systemet innefattar en industrirobot 1, i fortsättningen kallad roboten, vilken i sin tur innefattar en manipulator 2 och ett styrsystem 3 för styrning av robotens rörelser. Styrsystem som innehåller en modell av robotens kinematik. Systemet innefattar vidare ett arbetsobjekt, på vilken roboten ska utföra någon form av process, exempelvis svetsning, målning eller slipning. Vidare innefattar systemet en dator 5, i vilken mjukvaran som tillhör uppfinningen finns lagrad och där mjukvaran exekveras. Roboten, som visas i figuren, är en sexaxlig industrirobot och innefattar en bas 7, vilken är fast monterad mot ett underlag och ett stativ 8, vilket är vridbart i förhållande till basen runt en första axel. I stativets övre ände är en första robotarm 9 vridbart lagrad i förhållande till stativet runt en andra axel. I den första armens ytterände är en andra arm 10 vridbart lagrad i förhållande till den första armen runt en tredje axel. Den

andra robotarmen innefattar två delar, varvid den yttre delen är vridbar i förhållande till den inre delen runt en fjärde axel. Den andra armen 10 uppbär i sin yttre ände en tilt 11, vilken är vridbar runt en femte axel. Roboten innefattar också ett verktygsfäste 5 te 12, som är roterbart i förhållande till tilten runt en sjätte axel.

På verktygsfästet är ett mätorgan monterat, vilken innefattar en mätspets 14. Den yttre änden av mätorganet är formad som en spets och utgör mätspetsen 14. Mätspetsens yttersta del är avsedd att bringas i kontakt med ytan hos objektet 4. Mätorganets TCP ("Tool Center Point") ska vara densamma som TCP för det verktyg som ska användas vid processen. Alternativt kan mätspetsen monteras direkt på det verktyg som ska användas. Vid bågsvetsning monteras mätspetsen på svetspistolen med den yttersta delen av spetsen i den position där svetsstrålen normalt slutar. Vid polering monteras en "dummy"-axel försedd med en mätspets i spindelhållaren i stället för polerverktyget. Mätspetsens TCP ska vara densamma som TCP för polerverktyget, vilket normalt är i centrum av polerskivan. För att underlätta mätningen 20 kan en elektrisk signal kopplas mellan mätspetsen och det aktuella objektet, varvid robotpositionen läses av, då kontakt slutes, d.v.s. då mätspetsen är i kontakt med den yta eller kant som ska mätas.

25 Mätningen går till så att mätspetsen 14 förs fram och tillbaka över de ytor hos objektet som är åtkomliga. I fortsättningen benämns en yta hos ett objektet för objektyta. Verktygsorienteringen hålls därvid ungefär på samma sätt som är aktuellt för processen, exempelvis i fallet med polering medelst rondell vinkelrätt mot de ytor som mätes. Det är viktigt att verktygsorienteringen hålls ungefär som i den aktuella processen för att rätt kinematiska fel ska kompenseras. Ju fler mätpunkter som erhålles desto bättre blir kalibreringen. För att erhålla ett tillfredställande resultat bör åtminstone tre mätpunkter erhållas per objektyta och 30 åtminstone två mätpunkter per kantlinje hos objektet. Robotens styrsystem beräknar mätpunkternas position i robotens baskoordinatsystemet. I en alternativ utföringsform beräknar styrsyste-

met positionen i något annat koordinatsystem, som är kopplat till roboten. Beräkningen sker med hjälp av en kinematisk modell för roboten.

- 5 Det är en fördel om roboten har en reglermod för manuell ("lead-through") positionering. Detta innebär att robotoperatören med lätthet kan positionera och orientera det verktyg eller det arbetsobjekt som roboten uppbär genom att med händerna ta tag i verktyget eller objektet. En möjlighet att direkt manipulera en robot, d.v.s. utan programmeringslåda med "joystick" är att införa
- 10 en kraftsensor kopplad till en regleralgoritm i styrsystemet som omformar operatörens handkraft till robotrörelser. För detta ändamål måste roboten vara helt säker, så att operatören ej kommer till skada vid ett eventuellt fel. En möjlighet att uppfylla detta
- 15 krav är att använda en parallellkinematisk robot med så låg armvikt att roboten vid maximalt uppnåelig motoreffekt och hastighet inte allvarligt kan skada operatören. Samtidigt bör i styrsystemet finnas redundanta system för feldetektering.
- 20 Figur 2 visar i form av ett blockschema de ingående modulerna i systemet. Förutom roboten 1, mätspetsen 14 och objektet 4 innefattar systemet en CAD-modul 15, som tillhandahåller geometriska modeller av olika arbetsobjekt och verktyg, en klassificeringsmodul 16, vilken i sin tur innefattar en delklassificeringsmodul 16a, som bestämmer till vilken del av objektet en viss mät-
- 25 punkt hör och en objektklassificeringsmodul 16b, som bestämmer till vilket objekt eller verktyg mätpunkterna hör, en kalibreringsmodul 17, som bestämmer den geometriska modellens orientering och position relativt roboten, en beräkningsmodul 18, som bestämmer avvikelserna mellan mätpunkterna och motsvarande punkter på den geometriska modellen samt beräknar korrektionsvektorer som sedan användas för att korrigera de definierade positioner till vilka roboten ska förflyttas under utförande av processen, samt en justeringsmodul 19, som är anordnad att justera de
- 30 definierade positioner på objektet till vilka roboten ska förflyttas i beroende av korrektionsvektorerna.
- 35

Mätpunkternas position i robot något av robotens koordinatsystemet beräknas i robotens styrsystem baserat på den kinematiska modellen och robotaxlarnas lägen vid tidpunkten för mätningen. Mätpunkterna överförs sedan från styrsystemet till klassificeringsmodulen 16 för vidare bearbetning.

I CAD-modulen 15 finns geometriska modeller av ett antal olika arbetsobjekt och verktyg som ska användas i den aktuella robotcellen. De geometriska modellerna utgörs av CAD-modeller. I CAD-modellerna kan vilken punkt som helst på objektets yta beräknas från exempelvis "spline"-funktioner, linjeekvationer eller ytekvationer. I varje punkt på objektets yta är det möjligt att, med hjälp av kringliggande punkter på objektets yta, beräkna sådana karakteristiska parametrar som ytnormalens riktning och ytkrökningen i olika riktningar. I diskontinuerliga övergångar mellan olika ytor kan punkter i kantlinjer ges speciella karaktäristika, såsom linjeriktning, linjekrökning och beteckning hos anslutande plan. Detta utgör exempel på möjligheter att göra ytpunkter unika.

För att göra ytor unika kan parametrar som karaktäriserar punkterna på ytorna användas, till exempel medelnormalen, spridningen i normalriktning, ytans area, ytans medelkrökning. På samma sätt kan kantlinjer göras unika med parametrar för medelriktning, medelkrökning, linjelängd etc. För ett helt objekt kan relationerna mellan de definierade ytorna och kantlinjerna användas, till exempel vilka normalriktningar som är representerade, hur ytnormalerna är relaterade till varandra, vilka ytor kantlinjerna avgränsar och relationen mellan olika kantlinjers riktning.

Figur 3 visar några definitioner för objektklassificering. Objektet 34 har ett antal objektytor 20 och ett antal kantlinjer 21. På objektytan finns ett antal mätpunkter 22 utmärkta med kryss. I figuren finns ett objektkoordinatsystem 23 utsatt. Objektkoordinatsystemet är kopplat till objektet och alla punkter på objektet är relaterade till objektkoordinatsystemet.

Möjliga klassificeringsmått för objektytor är:

- Medel, max och min normalriktning relativt andra objektytor.
- Medel, max och min krökningsvinkel i olika riktningar relativt övriga objektytor.
- 5 - Objektytans tyngdpunktsläge och area relativt andra objektytor.
- Längder hos framräknade kantlinjer som ansluter till objektytan.

Möjliga klassificeringsmått för objekt är:

- Klassificeringsmått för de ingående objektytorna.
- 10 - Klassificeringsmått för kantlinjer.
- Spektrum av klassificeringsmått för mätpunkter.

- 15 I figur 3 visas också ett exempel på krökningsmått i form av en konvex krökningsvinkel 25 och en normalvektor 26 till en mätpunkt P.

Möjliga klassificeringsmått för mätpunkter i ett plan är:

- Normalriktning relativt andra mätpunkter. För att bestämma normalriktningen krävs minst två hjälpmätpunkter.
- 20 - Krökningsvinkel i minst en riktning. För att bestämma krökningsvinkeln krävs minst en hjälpmätpunkt.
- Koefficienter i en "spline" genom punkten. För att bestämma dessa koefficienter krävs minst två hjälppunkter.
- Avstånd till andra mätpunkter, t.ex. till extrempunkter.

25

Möjliga klassificeringsmått för kantlinjer som beräknas av skärningen mellan identifierade plan är:

- Tangentriktningen relativt andra kantlinjepunkter. För att bestämma tangentriktningen krävs minst en hjälpmätpunkt.
- 30 - Krökningsvinkel längs kantlinjen. För att bestämma krökningsvinkeln krävs minst en hjälppunkt på kantlinjen.
- Koefficienter i en "spline" genom närliggande kantlinjepunkter. För att bestämma dessa koefficienter krävs minst två hjälppunkter.
- 35 - Avstånd till andra kantlinjepunkter, t.ex. till extrempunkter.

I klassificeringsmodulen genereras automatiskt med data från CAD-modulen tabeller över karakteristiska parametrar för ytpunkter, ytor och kantlinjer hos de aktuella CAD-modellerna. Med hjälp av dessa parametrar klassificerar denna modul de mätpunkter som läses in från roboten, då mätspetsen är i kontakt med det verkliga objektets ytor. På detta sätt kommer de uppmätta punkterna att märkas upp med vilka objekt, ytor och kantlinjer de tillhör. Då klassificeringen är säker, lämnas dessa data över till kalibreringsmodulen.

10

Figur 4 visar klassificeringsmodulens 16 funktion närmare. I figuren visas ett antal mätpunkter 30 betecknade med x i figuren, vilka motsvarar positioner på det verkliga objektet. Mätpunkterna P_n är uppmätta med robotkinematiken 31. Robotens styrsystem beräknar mätpunkternas position i robotens baskoordinatsystemet 32. Beräkningen sker med hjälp av en kinematisk modell för roboten. I CAD-modulen finns ett objektkoordinatsystem 23 definierat och en CAD-modell 34 av objektet finns beskriven i objektkoordinatsystemet. Mätpunkterna klassificeras vilket innebär att det avgörs vilket objekt mätpunkterna tillhör och vilken objektyta eller kantlinje mätpunkterna tillhör. Således bestäms för varje mätpunkt till vilken objektyta eller kantlinje mätpunkten hör. En tabell tas fram för varje objektyta, där ingående mätpunkter listas. Detta innebär att mätpunkterna 36 placeras ut på ytorna på CAD-modellen. Denna utplacering kan förenklas avsevärt om kravet att systemet ska känna igen objektet ej är viktigt, utan att systemet känner till vilket objekt som är aktuellt och visar operatören på en bildskärm, vilka ytor eller kanter som han ska mäta in med roboten. Exempelvis kan operatören förse systemet med information om vilket objekt som ska kalibreras.

30

Mer i detalj hur klassificering och igenkänning av objekt kan utföras finns att läsa i skriften: "CAD-based object recognition for a sensor/actor measurement robot" av Claus Brenner, Jan Böhm och Jens Gühring. Denna skrift fanns utlagd den 11 februari 2003 på Internet under följande adress:
ifp.uni-stuttgart.de/publications/1998/CAD.pdf

35

Mer om klassificering finns att läsa i skriften "Automated extrac-
tion of features from CAD models for 3D object recognition" av
Jan Böhm, Klaus Brenner, Jens Gühring och Dieter Fritsch,
(ISPRS, Vol XXXIII, Amsterdam 2000) som den 11 februari 2003
5 fanns utlagt på Internet under följande adress:
fp.uni-stuttgart.de/publications/2000/Boehm_Amsterdam.pdf

I kalibreringsmodulen 17 utförs en bästa möjlig anpassning av
mätpunkterna till motsvarande punkter i CAD-modellen. Exem-
10 pelvis kan för varje objektyta avståndet mellan mätpunkter och
punkter på CAD-modellens yta minimeras kvadratisk ("least
mean square") genom translation i tre frihetsgrader och rotation i
tre frihetsgrader. Motsvarande kan göras för kantlinjer och slutli-
15 gen kan avståndet mellan samtliga uppmätta punkter på objektet
och motsvarande punkter på CAD-objektet minimeras för hela
objektet eller åtminstone för alla de ytor och kantlinjer som mätts
upp. Med denna anpassning erhålles den position och orientering
hos objektet som bäst passar de av roboten uppmätta mätpunk-
terna. Det förutsätts här att mätpetsens TCP är känd, liksom ro-
20 botens nominella kinematik. Vad kalibreringsmodulen således gör
är att placera, d.v.s. positionera och orientera objektkoordinatsy-
stemet 23 för objektet relativt robotens baskoordinatsystem 32,
så att största möjliga matchning erhålles mellan uppmätta punk-
ter på objektet och teoretiska punkter på CAD-modellen.

25 I ett alternativt utförande kan minsta kvadrat anpassningen ersät-
tas med andra optimeringsalgoritmer, exempelvis Gauss-Newton.

30 Kalibreringsmodulens funktion visas i figur 5. Objektkoordinatsys-
temet 23 positioneras och orienteras relativt robotens baskoordi-
natsystem 32 för erhållande av bästa möjliga anpassning mellan
mätpunkter och motsvarande klassificerade ytor eller kantlinjer
hos CAD-modellen. I ett första steg kan de för varje objektyta
klassificerade mätpunkterna placeras ut för minsta-kvadrat-
35 matchning av exempelvis normalvektorriktning, bankrökning och
position relativt CAD-modellen. Därefter matchas mätpunkterna
för två objektytor, tre objektytor etc. samtidigt relativt CAD-

modellen, till dess att minsta-kvadratanpassning erhållits för alla klassificerade mätpunkter till CAD-modellen. Denna metod kan ersättas med eller kompletteras med att kantlinjerna beräknas mellan de plan, för vilka matchning av mätpunkter gjorts och sedan minsta-kvadratanpassas de uppmätta kantlinjerna med kantlinjerna i CAD-modellen.

10 Kallbreringsmodulen 17 optimerar placeringen av det aktuella objektet men gör inget åt de resterande avvikelserna mellan mätpunkter och ytor eller kantlinjer hos CAD-modellen. Dessa avvikelser lagras i beräkningsmodulen 18 för att senare användas för kompensering av robotens kinematik i justeringsmodulen 19. I beräkningsmodulen 18 delas objektytorna in i delytor och kantlinjerna delas in i linjesegment. Varje delyta och varje linjesegment 15 bör innehålla minst en mätpunkt för beräkning av en representativ felvektor, vars riktning lämpligen är vinkelrät mot delytan eller linjesegmentet, såsom det definieras av CAD-modellen. Felvektorn för en mätpunkt är en vektorn som sträcker sig från den punkt på modellens yta som motsvarar mätpunkten till mätpunkten själv. En felvektor har både längd och riktning. 20

En korrektionsvektor beräknas för varje delyta. Som korrektionsvektor används exempelvis medelvärdet av felvektorerna för de mätvärden som tillhör delytan. Korrektionsvektorn längd bestäms 25 som medelvärdet av felvektorernas längd och korrektionsvektorns riktning bestäms som medelvärdet av felvektorernas riktning. I fallet då kompensering görs för kantlinjer ges riktningen av korrektionsvektorn naturligt som medelriktningen hos felvektorerna för aktuellt linjesegment. Samma felvektorriktning används 30 då även lämpligen för angränsande delytor hos de objektytor, till vilka kantlinjen gränsar.

35 Felvektorerna kan vid applikationer, där noggrannheten parallellt med objektytan är viktig, även innehålla laterala komponenter. Dessa komponenter räknas exempelvis ur normalfelvektorerna för angränsande objektytor, vilkas normal bildar vinkel mot den aktuella ytans normal.

I figur 6 visas en objektyta 40 hos objektet 4, vilken är uppdelad i ett antal delytor 42. Mätpunkter betecknas med kryss i ritningen. En delyta 42 utgörs av den av CAD-modellen definierade ytan. Mätpunkterna hamnar, beroende på resterande mätpunktsfel, på avstånd från CAD-delytan 42. Det resterande mätpunktsfelet beror exempelvis på kinematikfel, transmissionfel, gravitationsinducerad nedböjning och temperaturberoende ändring av robotgeometrin samt fel i TCP. I figuren visas ett antal mätpunktsläggen 44 relativt CAD-modellen efter objektkalibreringen enligt figur 5. Ett antal felvektorer 48 tas fram, vilkas längd och riktning bestäms av avstånd och riktning mellan mätpunkterna 44 och motsvarande punkter 45 på CAD-modellens yta. En korrektionsvektor 46 beräknas för varje delyta. Korrektionsvektorn beräknas som medelfelet för delytan, d.v.s. medelvärdet av felvektorerna 48 beräknas.

Ett alternativ till användande av delytor är kompensering med närmaste felvektorn för närmaste mätpunkt eller med hjälp av medelvärdet av närmaste n antal mätpunkters felvektorer.

En robotbana definieras genom att ett antal positioner definieras vilka roboten ska genomlöpa längs med banan. Dessa definierade positioner utgör indata till robotprogrammeringen. När positionerna är definierade kan robotprogrammet genereras automatiskt. Dessa positioner kan exempelvis definieras i CAD-modulen 15 med hjälp av CAD-modellen av objektet. Innan en i CAD-modulen definierad bana kan överföras till robotens styrsystem, måste banans positioner justeras beroende på resterande mätpunktsfel. De definierade banapositionerna kompenseras med hjälp av de felvektorer som finns lagrade för de delytor eller linjesegment som banan passerar. För erhållande av en jämn kompensering utmed banan görs en utjämning i form av en filtrering av felvektorernas längd i övergångarna mellan delytorna eller linjesegmenten.

Figur 7 visar hur en robotbana 50, definierad i CAD-modellen, justeras med hjälp av lagrade korrektionsvektorer 46, vilka är medelfelet av felvektorerna 48 i delytan 42. Robotbanan 50 kompenseras genom att den justeras i ytnormalens riktning, en sträcka som motsvarar storleken av korrektionsvektorn 46 för delytan. Genom att justera robotbanan för varje delyta erhåller man en ny justerad robotbana 52. Då den justerade robotbanan 52 används som referens till roboten, kommer verktygets TCP att följa det verkliga objektets yta, så som anvisas av den programmerade banan i CAD-modellen.

Figur 8 visar kompensering av en robotbana 60, programmerad i CAD-modellen, där banan kompenseras för fel i två riktningar. I figuren visas en första objektyta 40 och en till den första objektytan angränsande andra objektyta 64. Objektytan 40 och objektytan 62 skiljs åt av en kantlinje 65. Kantlinjen 65 utgör skärningen mellan objektytorna 40 och 64. I CAD-modellen finns en kantlinje 66 som motsvarar kantlinjen 65. Kantlinjen 66 i CAD-modellen justeras för att överensstämja med motsvarande kantlinje på objektet. Justeringen av kantlinjen 66 baseras på korrektionsvektorerna 67 och 68 hos angränsande delytor i objektytorna 40 och 64. Den på så sätt justerade kantlinjen betecknas 69 i figuren. Den i CAD-modellen programmerade banan 60 kompenseras i beroende av medelfelet i delytans normalriktning hos objektytan 40, dvs. korrektionsvektor 67, och medelfelet i delytans plan, som ges av medelfelet hos närmaste delyta hos objektytan 64 projiceradt på delytan i objektytan 40, dvs. korrektionsvektor 68. På så sätt blir banan kompenserad för fel i två riktningar.

Figur 9 visar hur en i CAD-modellen programmerad robotbana 82 kompenseras för fel i tre riktningar. En kantlinje 76 beräknas som skärningen mellan objektytan 40 och en objektyta 74. En kantlinje 78 beräknas som skärningen mellan objektytan 40 och objektytan 64. Justerade kantlinjer 80 beräknas i beroende av korrektionsvektorerna hos angränsande delytor i objektytorna 40, 64 och 74. I figuren visas den kompenserade banan 84, vilken är kompenserad för fel i tre riktningar. Korrektionsvektorerna kan

antingen erhållas från angränsande objektytor eller angränsande kantlinjer.

- Figur 10 visar en alternativ utföringsform, där kompensering sker medelst närmaste felvektorer i närmaste objektplan. Detta kan utökas med medelvärdet av de n närmaste felvektorerna i respektive objektplan. I figuren betecknar 86 ett första objektplan och 88 ett andra objektplan. Bana 90 är programmerad i CAD-modellen och bana 91 är den kompenserade banan. Som framgår av figuren blir den kompenserade banan oregelbunden med skarpa övergångar mellan olika segment av bana. För att minska bruset hos den kompenserade banan och erhålla en mjukare bana, kan banans positioner filtreras med avseende på banlängd.
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- Då en bana genererad genom "lead through" av roboten ska lagras i CAD-modellen för att sedan exempelvis lagras i andra robotar, görs en omvänd kompensering med hjälp av de lagrade felvektorerna.
- I det följande beskrivs en utföringsform av en metod för att programmera en industrirobot enligt uppfinningen. Det objekt som ska bearbetas sätts fast i sin fixtur. Alternativt om verktyget är rumsfast, sätts objektet som ska bearbetas fast i robotens gripdon. Mätspetsen monteras på verktyget eller till robotens verktygsfäste. Om verktyget inte är ett rumsfast verktyg, sätts verktyget fast på robotens verktygsfäste. Mätspetsen förs fram och tillbaka över objektets ytor och samtidigt följer roboten med i rörelserna. I en alternativ utföringsform matar operatören in vilket objekt som används vid kalibreringen och systemet visar sedan under mätningsförfarandet med roboten via en monitor, vilka ytor som ska scannas av med mätspetsen.
- Robotens styrsystem beräknar punkternas positioner i något av robotens koordinatsystem. Mätpunkterna överförs till klassificeringsmodulen, som klassificeras mätpunkterna. De klassificerade mätpunkterna överförs till kalibreringsmodulen, som beräkna felvektorer i beroende av avvikelser mellan mätpunkterna och mot-

5 svarande punkter på CAD-modellen. Beräkningsmodulen beräknar också bankorrektionsvektorer för delytor hos objektet. Systemet kan även under mätningen göra klassificering, kalibrering och beräkning av bankorrektionsvektorer för att efter hand som
10 nya objektytor mäts upp avgöra när det finns tillräckligt med mätpunkter. Ett kriterium som visar att det finns tillräckligt antal mätpunkter är exempelvis att standardavvikelsen vid anpassningen av mätpunkterna till den geometriska modellen ska vara mindre än ett givet värde. När kriteriet är uppfyllt, talar systemet om för
15 operatören att mätningen är klar.

20 Då tillräckligt många mätpunkter har matats in, beräknar systemet objektkoordinatsystemets läge och orientering relativt robotens baskoordinatsystem samt korrektionsvektorer för de delytor och linjesegment som genererats. Korrektionsvektorerna samt objektkoordinatsystemets läge och orientering relativt robotens baskoordinatsystem överförs till justeringsmodulen, som justerar de positioner som definierats för robotens förflyttning. Baserat på de justerade positionerna genereras automatiskt ett robotprogram.

25 I det följande beskrivs körning av ett program genererat i CAD-modulen. Operatören monterar på processverktyget, exempelvis en polerrondell. De på CAD-modellens objektytor definierade robotbanorna för TCP kompenseras med de korrektionsvektorer, som gäller för de delytor som robotbanan passerar. De korrigerade positionerna samt det av kalibreringsmodulen beräknade objektkoordinatsystemet används för att beräkna robotbanorna i robotens baskoordinatsystem. Med hjälp av den kinematikmodell
30 som också används vid kalibreringen, beräknas robotens axelvinklar för den interpolerade robotbanan och används som referens till robotservot.

35 I det följande beskrivs programmering av robotbanor genom "lead through". Operatören monterar på det verktyg som skall användas. Operatören för verktyget utmed objektet för att simulera det arbete som roboten ska utföra. Systemet läser av robotaxlarnas

positioner och beräknar med hjälp av den robotkinematik som används vid kalibreringen och det vid kalibreringen beräknade objektkoordinatsystemet, de av operatören genererade robotbanorna i objektkoordinatsystemet. Systemet justerar banorna med hjälp av de korrektionsvektorer som vid kalibreringen genereras för delytorna. Därigenom kommer banorna att hamna på CAD-modellens objektytor och kan sedan användas för körning av robotbanor genererade från CAD, till exempel i en annan robotinstallation.

10

Figur 11 visar programmeditering. Operatören pekar med måtspetsen eller verktyget på ett område 92 av objektytan, där processen inte givit tillräckligt bra resultat och meddelar systemet vad som ej är bra, exempelvis genom talkommunikation. Operatören anger hur banan ska ändras, till exempel "öka processkraft" eller såsom visas i figuren "minska avståndet till objektet". Systemet hämtar data från CAD-modellen för de delytor eller linjesegment som markerats av operatören och justerar robotbanan för dessa delytor, till exempel flyttar banan närmare objektytan, då djupet av poleringen ska utökas på det markerade området. Robotbanan 94 flyttas i ytnormalens riktning i den del av banan som ligger inom det av operatören markerade området 92. För att undvika att ändringen bli för abrupt, beräknas den nya banan med en mjuk övergång in i och ut ur det av operatören markerade området 92. Banjusteringen 96 lagras i CAD-systemets modell.

25

Figur 12 visar mätning med rumsfast TCP. När ett verktyg med rumsfast TCP används, är det inte längre lämpligt att använda robotens baskoordinatsystem 32 för att definiera mätpunkterna. Istället används robotens handledskoordinatsystem 100. En rumsfast måtspets 102 används vid mätningen. Mätpunkterna P_n (X_n, Y_n, Z_n) uttrycks i handledskoordinatsystemet 100. Objektkoordinatsystemet 23 definierat i CAD-modulen positioneras och roteras relativt handledskoordinatsystemet 100 för erhållande av bästa möjliga anpassning till mätpunkterna.

30

35

Figur 13 visar kalibrering av ett verktyg 104 medelst en rumsfast

- mätspets 102. Verktöget är monterat på robotens verktygsfäste. I CAD-modulen finns en CAD-modell 105 för verktöget lagrad. Verktögets CAD-modell är definierad i ett verktygskoordinatsystem 106. CAD-modellens orientering och position relativt handledskoordinatsystemet 100 bestäms genom att CAD-modellen 105 och mätpunkterna, markerade med x i figuren, anpassas på bästa möjliga sätt till varandra. Verktögskoordinatsystemet 106, som är definierat i CAD-modulen, positioneras och roteras relativt handledskoordinatsystemet 100 för att åstadkomma bästa möjliga anpassning till mätpunkterna. När en rumsfast TCP används, monteras mätspetsen på robotens handled och mätningen utförs så som visas i figur 4. Samma teknik kan även användas för gripdon och fixturer, om dessa finns som CAD-modeller.
- 15 I figur 14 visas hur uppfinningen kan appliceras för en bågsvets. I en applikationen bågsvets kan verktöget självt fungera som mätspets. Om svetstråden är för vek för programmeringen, kan emellertid en mätspets monteras direkt på svetspistolen med en utskjutande del motsvarande svetstrådens längd. Om det inte
- 20 finns någon CAD-modell, kan systemet ändå med hjälp av mätpunkterna dela upp objektet i plan och beräkna skärningslinjerna mellan planen och lägga ut robotbanan i dess skärningslinjer, vilket underlättar för operatören.
- 25 Det är också möjligt att generera en CAD-modell med hjälp av roboten. Operatören mäter upp ett plan åt gången med roboten och talar om för systemet när han ska mäta upp nästa plan. Alternativt kan systemet ha den intelligens som krävs för att avgöra hur mätpunkterna ska delas upp i plan med hjälp av tidigare beskriven klassificeringsteknik. Systemet minsta-kvadrat-anpassar plan med exempelvis "splines" till de mätpunkter som matas in. De till mätpunkterna anpassade planen, samt planens skärningslinjer beskrivs i CAD-modellformat och läggs in i en CAD-databas, för användning enligt tidigare beskrivningar för kalibrering etc. Eventuellt kan modellgenereringen göras med iterationer, varvid i en första iteration endast ett fåtal mätpunkter läses

in för erhållande av en grov CAD-modell, varefter de tidigare använda metoderna används.

5 Vid kinematikfel hos roboten kommer mätpositionen uppmätt med roboten att vara beroende av verktygsorienteringen. För att minimera detta fel bör operatören då han mäter upp objektytor använda den verktygsorientering som kommer att användas då roboten senare skall exekvera banor på denna yta. Ett sätt att tvinga operatören att hålla rätt orientering vid uppmätningen är
10 att operatören först matar in mätpunkter utan större noggrannhet i robotorienteringen, att systemet sedan gör anpassning av de erhållna mätpunkterna och att sedan operatören gör om mätningarna, men denna gång låser systemet verktygsorienteringen till den orientering som gäller för robotbanorna i respektive objekt-
15 yta. Låsningen görs genom kraftstyrning av roboten, varvid de 3 orienteringsfrihetsgraderna görs styva medan de 3 positioneringsfrihetsgraderna görs mjuka.

20 Robotens kinematik ändras med temperaturen och fixturer slits och robotkomponenter kan behöva bytas. För att slippa gör om den manuella framtagningen av mätpunkter för ny koordinatsystemsanpassning och bankompensering, så kan det av operatören en gång gjorda mätprogrammet lagras i systemet och sedan genereras automatiskt för ny uppmätning av objekt, verktyg, fixtur etc. Roboten körs därvid med kraftstyrning, t.ex. i admittans-
25 styrningsmod.

30 Föra att säkra kontakten mellan mätspets och objekt kan mätspetsen innehålla en sensor (LVDT, kraftgivare, tryckgivare, optisk givare, virvelströmmsgivare etc.). I fallet elektriskt ledande objekt och verktyg kan även en elektrisk krets (helst växelström) kopplas upp mellan mätspets och objekt.

35 För att underlätta för operatören vid upptagning av mätpunkter på objektet kan talkommunikation användas i stället för knapp-sats och monitor.

Under tiden som mätpunkter matas in kan systemet utföra klassificering och "best fit" beräkningar för att tala om för operatören hur många mätpunkter som behövs för att få tillräcklig noggrannhet i kalibrering och bankompensering.

5

Det skall påpekas att metoden förlitar sig till robotens repeter-noggrannhet och ej behöver dyr noggrann robot eller robot med komplicerad mjukvarukompensering av kinematikparameterfel.

- 10 Uppfinningen är inte begränsad till de visade utföringsformerna utan kan varieras och modifieras inom ramen för de efterföljande kraven.



PATENTKRAV

1. Metod för att programmera en industrirobot (1) att förflytta sig relativt definierade positioner på ett objekt (4), varvid programmeringen baserar sig på en geometrisk modell (34) av objektet, kännetecknad av att metoden innefattar:
- ett flertal mätpunkter registreras och lagras, varvid var och en av mätpunkterna motsvarar en punkt på det verkliga objektets yta uttryckt i något till roboten kopplat koordinatsystem (32, 100),
 - 10 - orientering och position hos den geometriska modellen av objektet relativt nämnda till roboten kopplade koordinatsystem bestämmes genom att den geometriska modellen av objektet och mätpunkterna anpassas till varandra,
 - för åtminstone några av mätpunkterna beräknas avvikelser (48) mellan mätpunkterna (44) och motsvarande punkter (45) på den geometriska modellen, och
 - 15 - nämnda definierade positioner justeras baserat på nämnda beräknade avvikelser.
- 20 2. Metod enligt krav 1, kännetecknad av att den vidare innefattar att:
- för ett antal olika delar av objektet beräknas en eller flera karakteristiska parametrar baserat på den geometriska modellen för objektet,
 - 25 - till vilken del (20, 21) av objektet en mätpunkt tillhör bestämmes baserat på nämnda karakteristiska parametrar, och
 - nämnda anpassning av den geometriska modellen av objektet till mätpunkterna innefattar att mätpunkter som tillhör en viss del av objektet anpassas till motsvarande del hos den geometriska modellen.
 - 30
3. Metod enligt krav 2, kännetecknad av att nämnda delar innefattar ytor (20) och kantlinjer (21) hos objektet.
- 35 4. Metod enligt något av kraven 1-3, kännetecknad av att den vidare innefattar att:

- geometriska modeller för ett antal olika objekt tillhanda-
hålls,
 - för vart och ett av objekten beräknas ett antal karakteristis-
ka parametrar baserat på den geometriska modellen för objektet,
5 och
 - till vilket av objekten mätpunkterna tillhör bestämmes base-
rat på mätpunkterna och nämnda karakteristiska parametrar.
- 10 5. Metod enligt något av kraven 2-4, kännetecknad av att
nämnda karakteristiska parametrar innefattar normalens riktning
(26) relativt objektets yta och krökningen (25) hos objektets yta.
- 15 6. Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att
den geometriska modellen av objektet och mätpunkterna anpas-
sas till varandra genom att avståndet mellan mätpunkterna och
motsvarande punkter på den geometriska modellen av objektet
minimeras.
- 20 7. Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att
objektets ytor delas in i ett flertal delytor (42), var och en inne-
hållande åtminstone en mätpunkt, för delytorna beräknas en kor-
rektionsvektor (46) baserat på avvikelserna (48) mellan mätpunk-
ten/mätpunkterna i delytan och motsvarande punkt/punkter på
den geometriska modellen av objektet, och att nämnda definiera-
25 de positioner justeras baserat på korrektionsvektorerna för de
delytor som positionerna tillhör.
- 30 8. Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att
objektets kantlinjer delas upp i ett flertal linjesegment, vart och
ett innehållande åtminstone en mätpunkt, för linjesegmenten be-
räknas en korrektionsvektor baserat på avvikelserna mellan mät-
punkten/mätpunkterna i linjesegment och motsvarande punkt-
/punkter på den geometriska modellen av objektet, och att nämnda
35 definierade positioner justeras baserat på korrektionsvektoro-
rna för linjesegment i närheten av de definierade positionerna.

9. Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att nämnda mätpunkter motsvarar robotens positioner när en förutbestämd punkt på ett verktyg, eller ett mätorgan (14) som motsvarar aktuellt verktyget, står i kontakt med olika punkter på objektets ytor.
10. Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att nämnda definierade positioner är definierade relativt den geometriska modellen och att de definierade positionerna transformeras till nämnda till roboten kopplade koordinatsystemet baserat på den bestämda orienteringen och positionen av den geometriska modellen relativt det till roboten kopplade koordinatsystemet.
11. Ett datorprogram direkt inladdningsbart i en dators minne, innefattande instruktioner för att påverka en processor att utföra stegen i förfarandet enligt något av kraven 1-10.
12. Ett datorläsbart medium innefattande ett datorprogram innefattande instruktioner för att påverka en processor att utföra stegen i förfarandet enligt något av kraven 1-10.
13. Ett system för att programmera en industrirobot (1) att förflytta sig relativt definierade positioner på ett objekt (4), varvid systemet innefattar en geometrisk modell (34) av objektet, kännetecknat av att systemet vidare innefattar:
- det verkliga objektet (4),
 - en industrirobot (1), varvid det verkliga objektet och roboten är anordnade så att det är möjligt att medelst roboten generera ett flertal mätpunkter motsvarande olika punkter på det verkliga objektets yta uttryckt i ett till roboten kopplat koordinatsystem (32, 100),
 - en kalibreringsmodul (17) anordnad att bestämma orientering och position hos den geometriska modellen av objektet relativt nämnda till roboten kopplade koordinatsystem, medelst anpassning av mätpunkterna till den geometriska modellen av objektet,

- en beräkningsmodul (18) anordnad för beräkning av avvikelser (48) mellan mätpunkterna (44) och motsvarande punkter (45) på den geometriska modellen, och
- en justeringsmodul (19) anordnad att justera nämnda definierade positioner baserat på nämnda beräknade avvikelser.

14. System enligt krav 13, kännetecknat av att systemet innefattar ett mätorgan (14) anpassat för att vid mätning stå i kontakt med objektets yta, varvid mätorganet har en centrumpunkt som motsvarar verktygscentrumpunkten (TCP) för aktuellt verktyg.

15. System enligt krav 14, kännetecknat av att mätorganet (14) är inrättat att vid kontakt med objektet avge en signal och att systemet är inrättat att som svar på denna signal generera åtminstone en mätpunkt baserat på robotens position.

16. System enligt något av kraven 13-15, kännetecknat av att systemet innefattar en delklassificeringsmodul (16a) anordnad att för ett antal olika delar (20, 21) av objektet beräkna en eller flera karakteristiska parametrar baserat på den geometriska modellen för objektet och att bestämma till vilken del av objektet en mätpunkt tillhör, baserat på nämnda karakteristiska parametrar, varvid nämnda kallbreringsmodul (17) är inrättad att utföra nämnda anpassning av den geometriska modellen av objektet till mätpunkterna genom att anpassa de mätpunkter som tillhör en viss del av objektet till motsvarande del hos den geometriska modellen.

17. System enligt krav 16, kännetecknat av att nämnda delar innefattar ytor (20) och kantlinjer (21) hos objektet.

18. System enligt något av kraven 13-17, kännetecknat av att systemet vidare innefattar geometriska modeller för ett antal olika objekt och en objektsklassificeringsmodul (16b) inrättad att för vart och ett av objekten beräkna ett antal karakteristiska parametrar baserat på objektets geometriska modell och att bestäm-

ma till vilket av de olika objekten mätpunkterna tillhör, baserat på mätpunkterna och de beräknade karakteristiska parametrarna.

5 19. System enligt något av kraven 16-18, kännetecknat av att nämnda karakteristiska parametrar innefattar normalens riktning (26) relativt objektets yta och krökningen (25) hos objektets yta.

10 20. System enligt något av kraven 13-19, kännetecknat av att nämnda kalibreringsmodul (17) är inrättad att anpassa den geometriska modellen av objektet och mätpunkterna till varandra medelst minimering av avståndet mellan mätpunkterna och motsvarande punkter på den geometriska modellen av objektet.

15 21. System enligt något av kraven 13-20, kännetecknat av att nämnda justeringsmodul (19) innefattar medel för att dela upp objektets ytor in i ett flertal delytor (42), var och en innehållande åtminstone en mätpunkt, och justeringsmodulen är inrättad att för delytorna beräkna en korrektionsvektor baserat på avvikelserna mellan mätpunkten/mätpunkterna i delytan och motsvarande punkt/punkter på den geometriska modellen av objektet, och att justera nämnda definierade positioner baserat på korrektionsvektorerna för de delytor som positionerna tillhör.

25 22. System enligt något av kraven 13-21, kännetecknat av att nämnda justeringsmodul (19) innefattar medel för dela upp objektets kantlinjer i ett flertal linjesegment, vart och ett innehållande åtminstone en mätpunkt, och justeringsmodulen är inrättad att för varje linjesegment beräkna en korrektionsvektor baserat på avvikelserna mellan mätpunkten/mätpunkterna i linjesegment och motsvarande punkt/punkter på den geometriska modellen av objektet och att justera nämnda definierade positioner baserat på korrektionsvektorerna för linjesegment i närheten av de definierade positionerna.

30 35 23. System enligt något av kraven 13-22, varvid nämnda definierade positioner är definierade relativt den geometriska modellen, kännetecknat av att nämnda justeringsmodul innefattar medel för

att transformera nämnda definierade positionerna till nämnda till roboten kopplade koordinatsystem, baserat på den bestämda orienteringen och positionen av den geometriska modellen relativt nämnda koordinatsystemet.



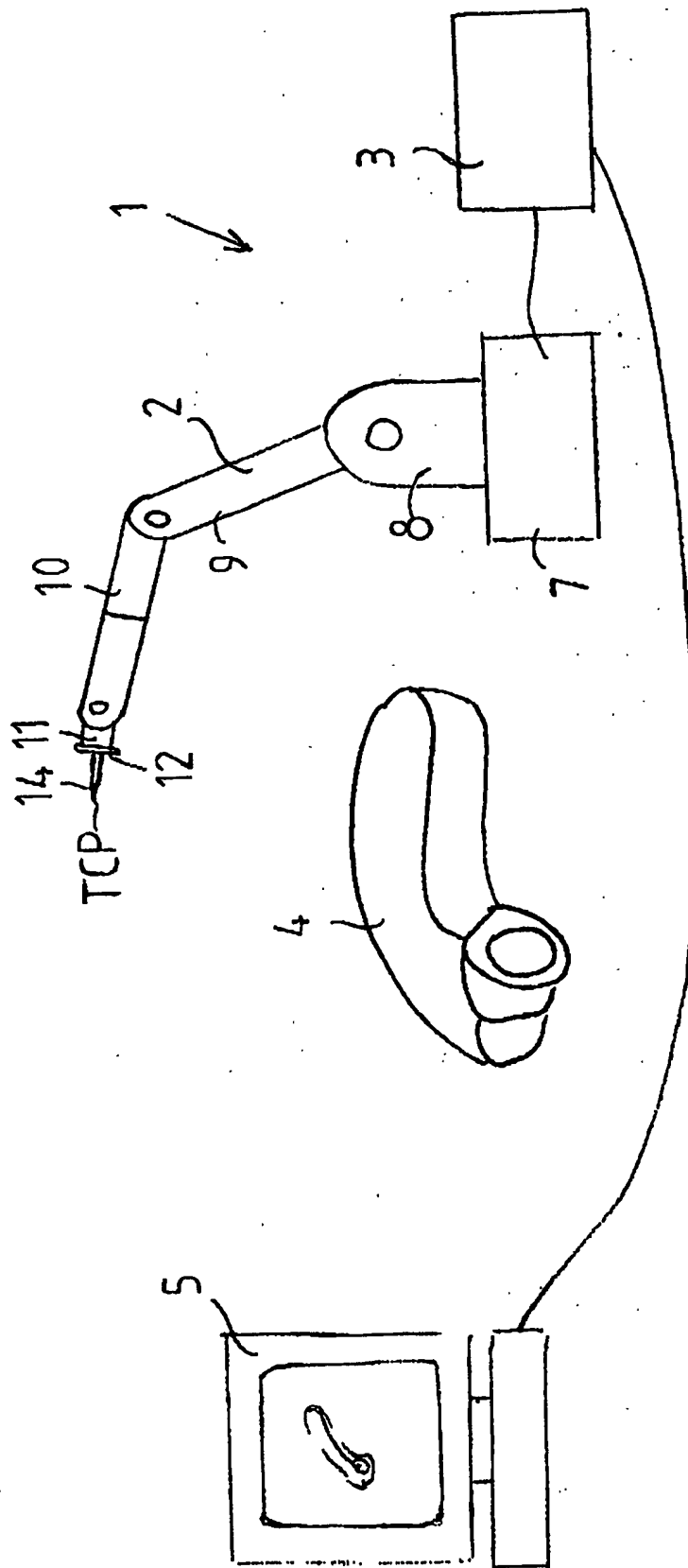
SAMMANDRAG

- En metod och ett system för att programmera en industrirobot (1) att förflytta sig relativt definierade positioner på ett objekt (4).
- 5 Systemet innefattar en geometrisk modell av objektet, det verkliga objektet, en industrirobot. Ett flertal mätpunkter genereras som motsvarande olika punkter på det verkliga objektets yta uttryckt i ett till roboten kopplat koordinatsystem. Systemet innefattar vidare en kalibreringsmodul (17) anordnad att bestämma ori-
- 10 entering och position hos den geometriska modellen av objektet relativt nämnda till roboten kopplade koordinatsystem, en beräkningsmodul (18) anordnad för beräkning av avvikelser mellan mätpunkterna och motsvarande punkter på den geometriska modellen, och en justeringsmodul (19) anordnad att justera nämnda
- 15 definierade positioner baserat på nämnda beräknade avvikelser.

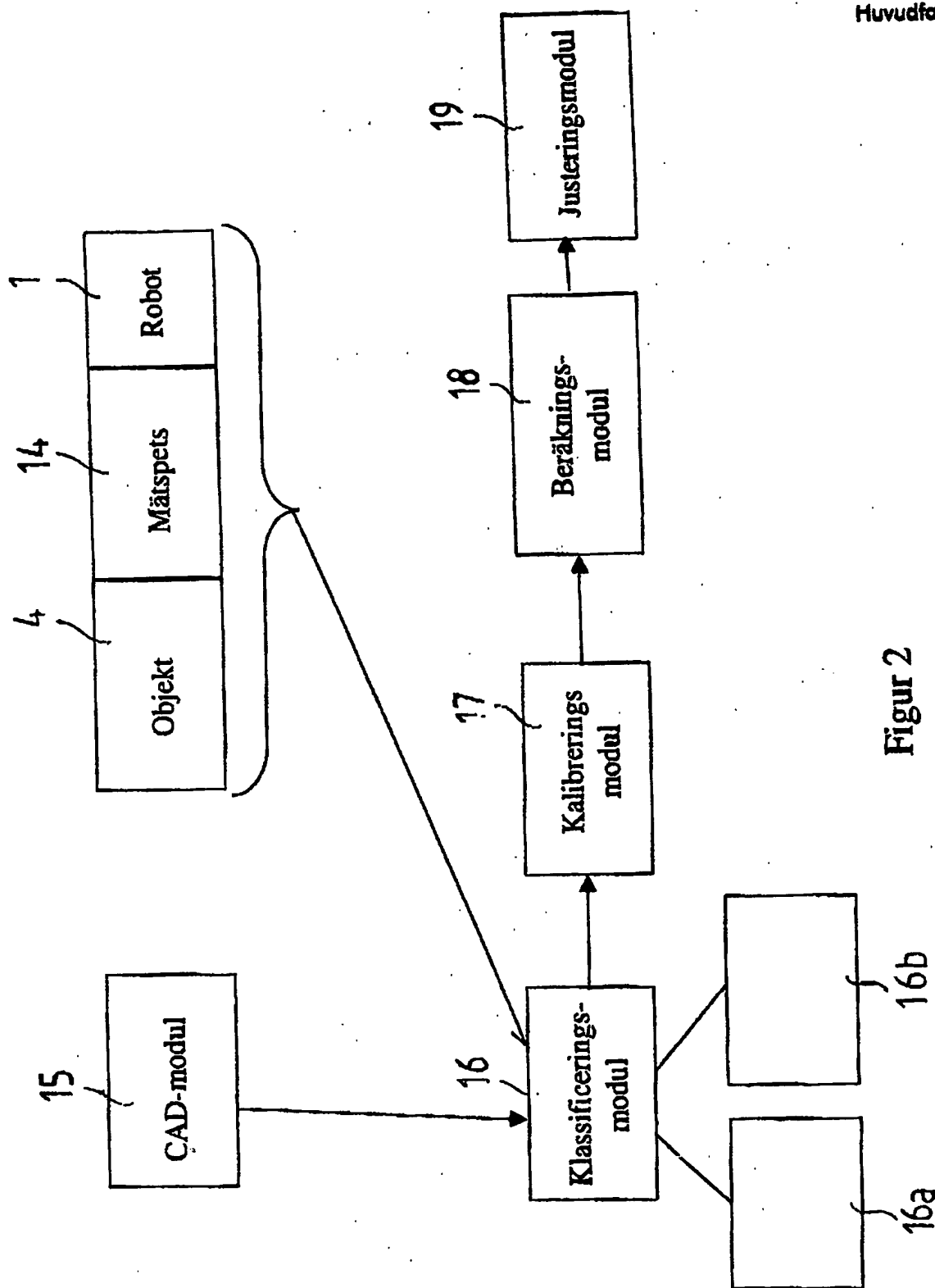
(Figur 2)



(1/14)



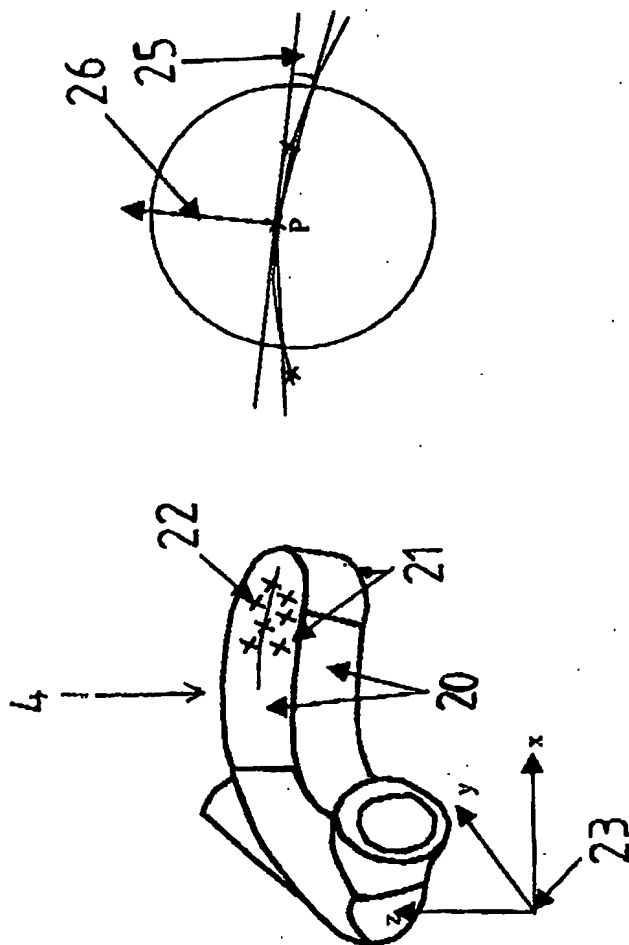
Figur 1



Figur 2

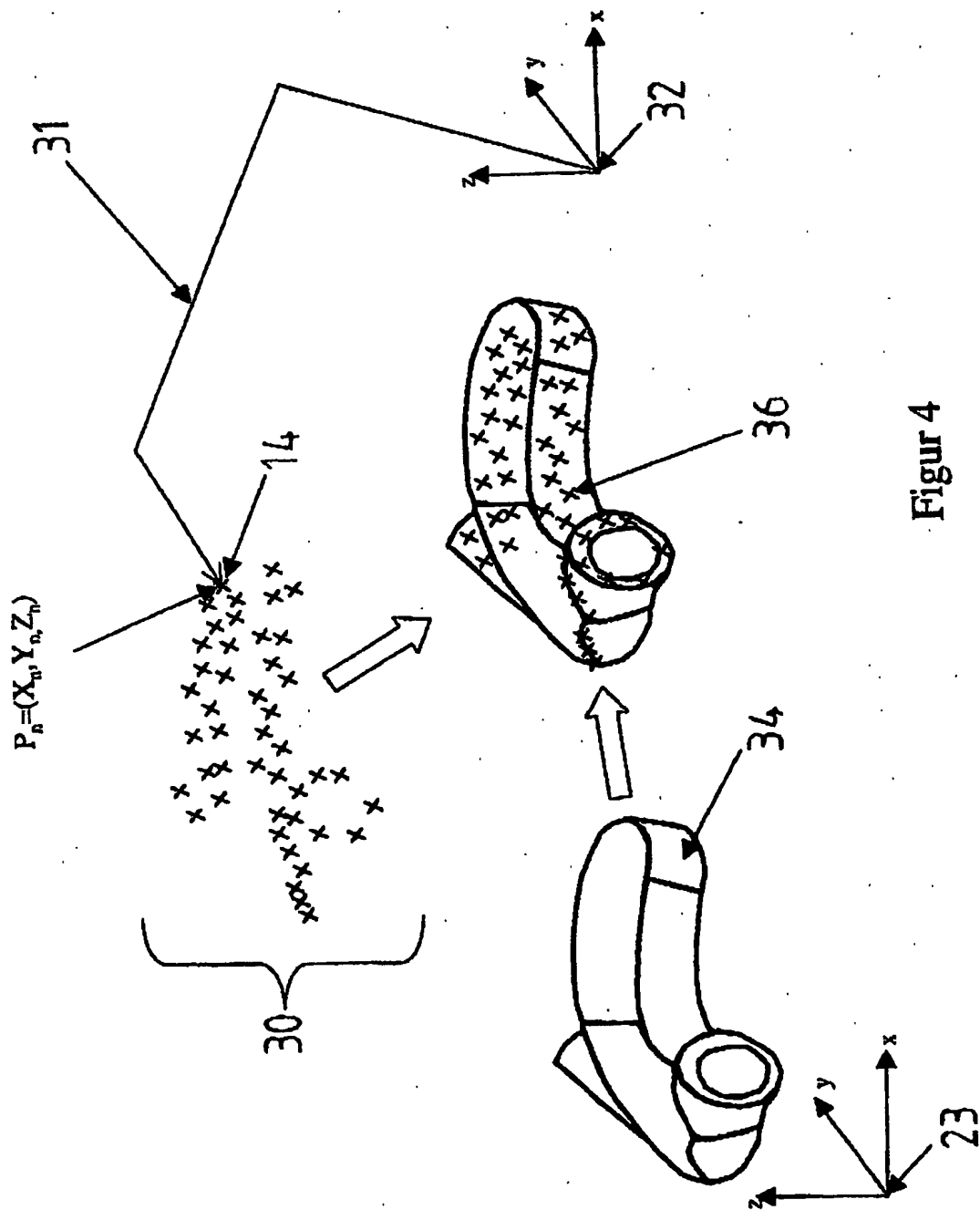
030060900

(2/14)



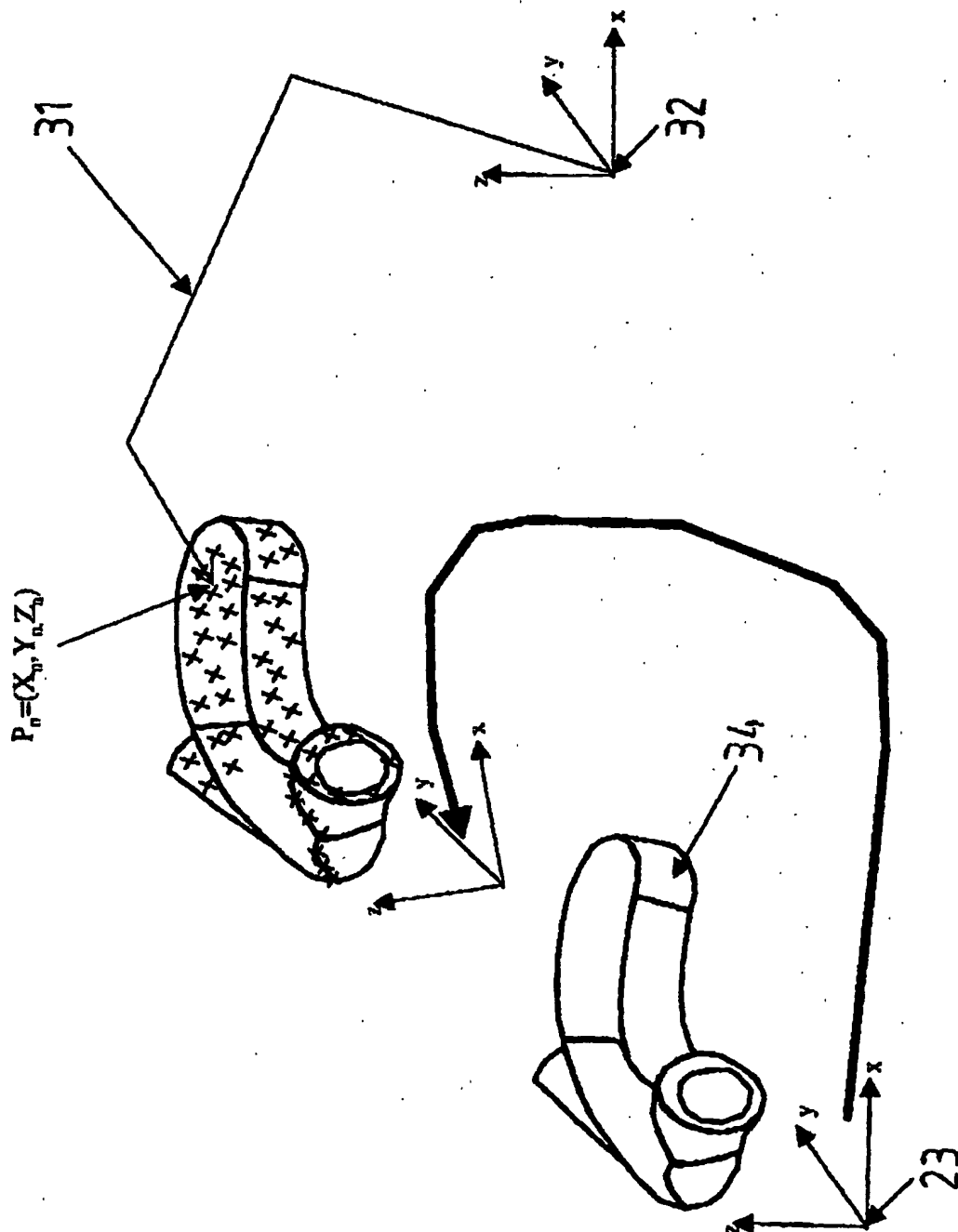
Figur 3

Figur 4

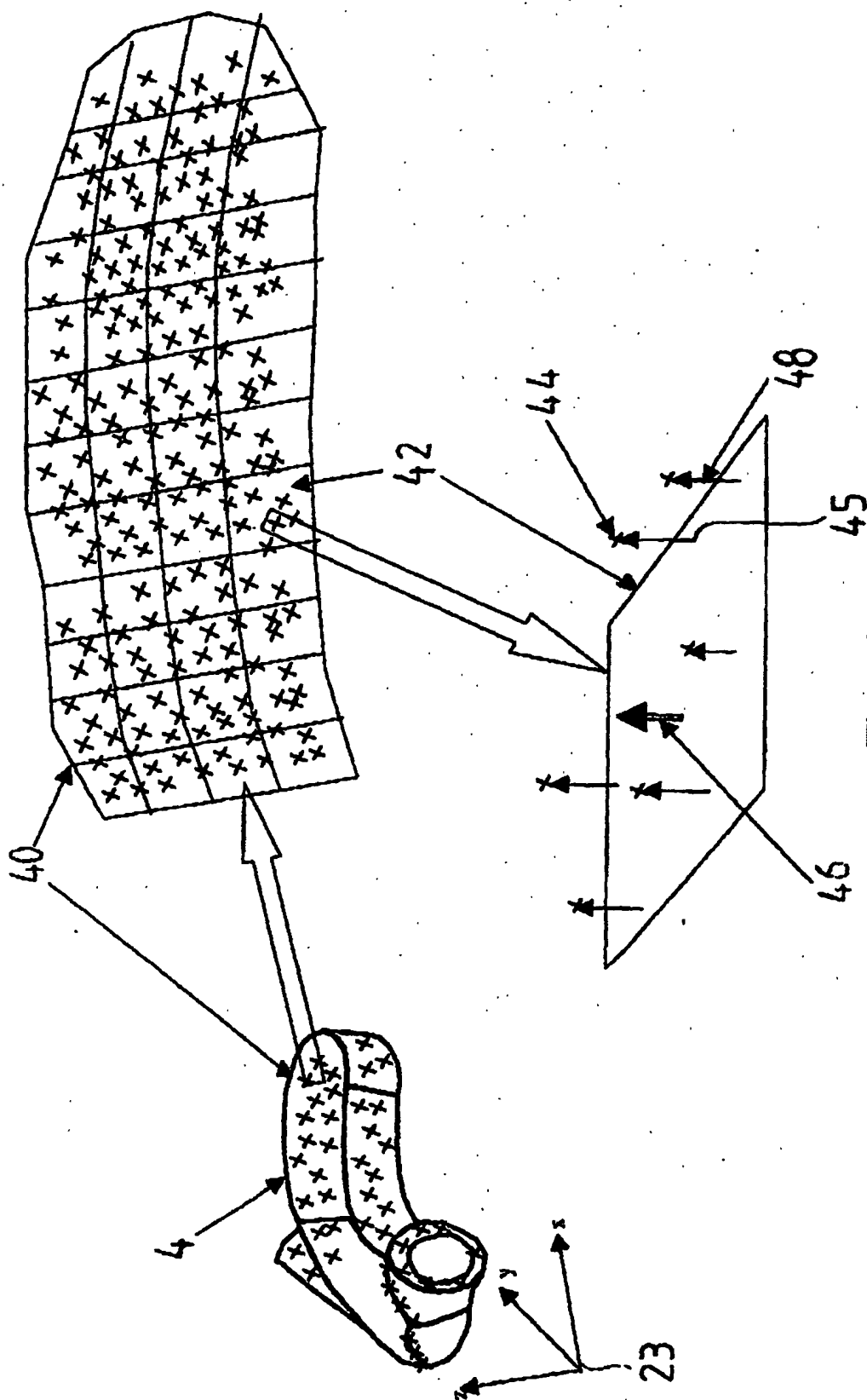


(4/14)

0000000000



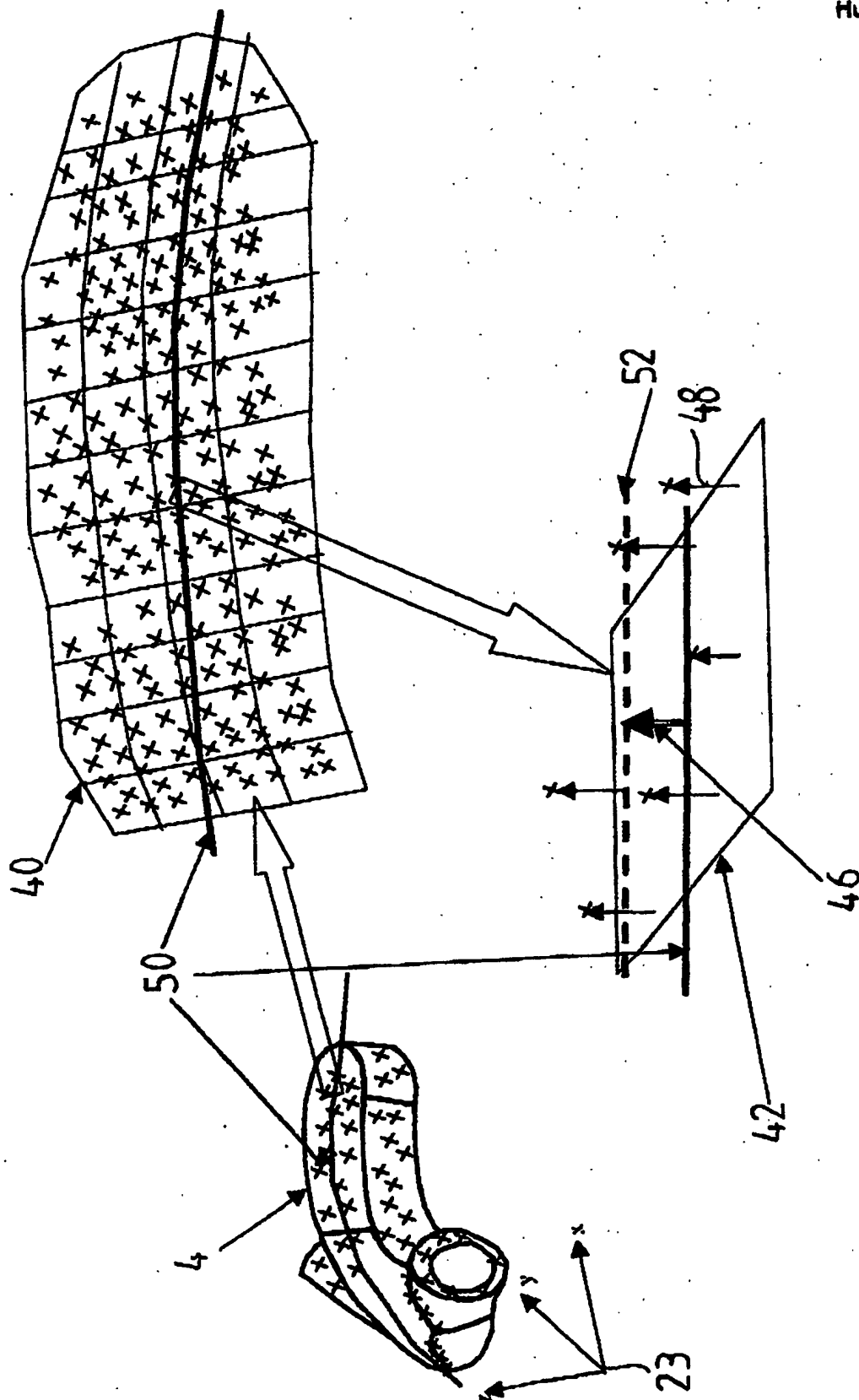
Figur 5



Figur 6

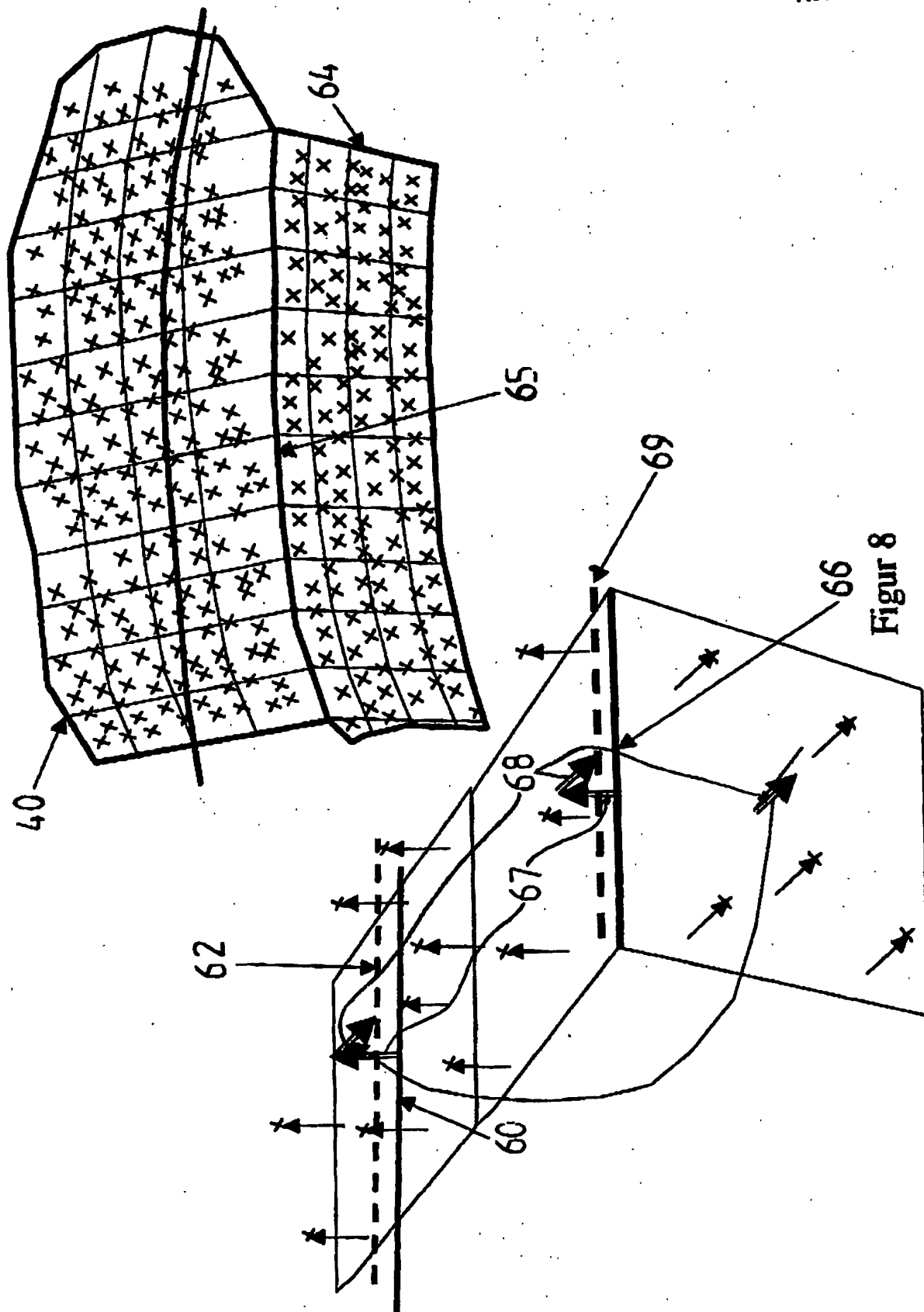
(6/14)

(7/14)

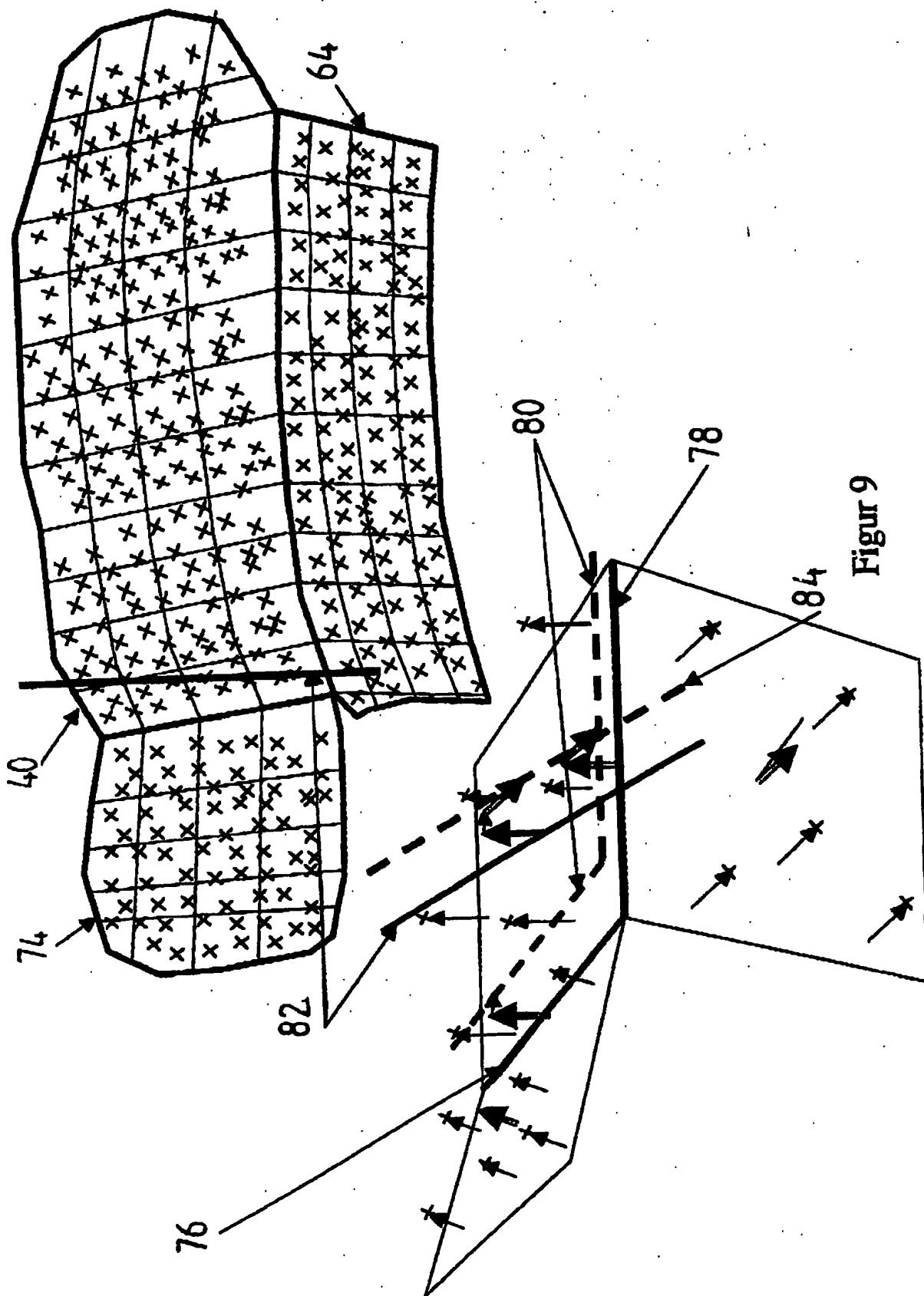


Figur 7

(8/14)

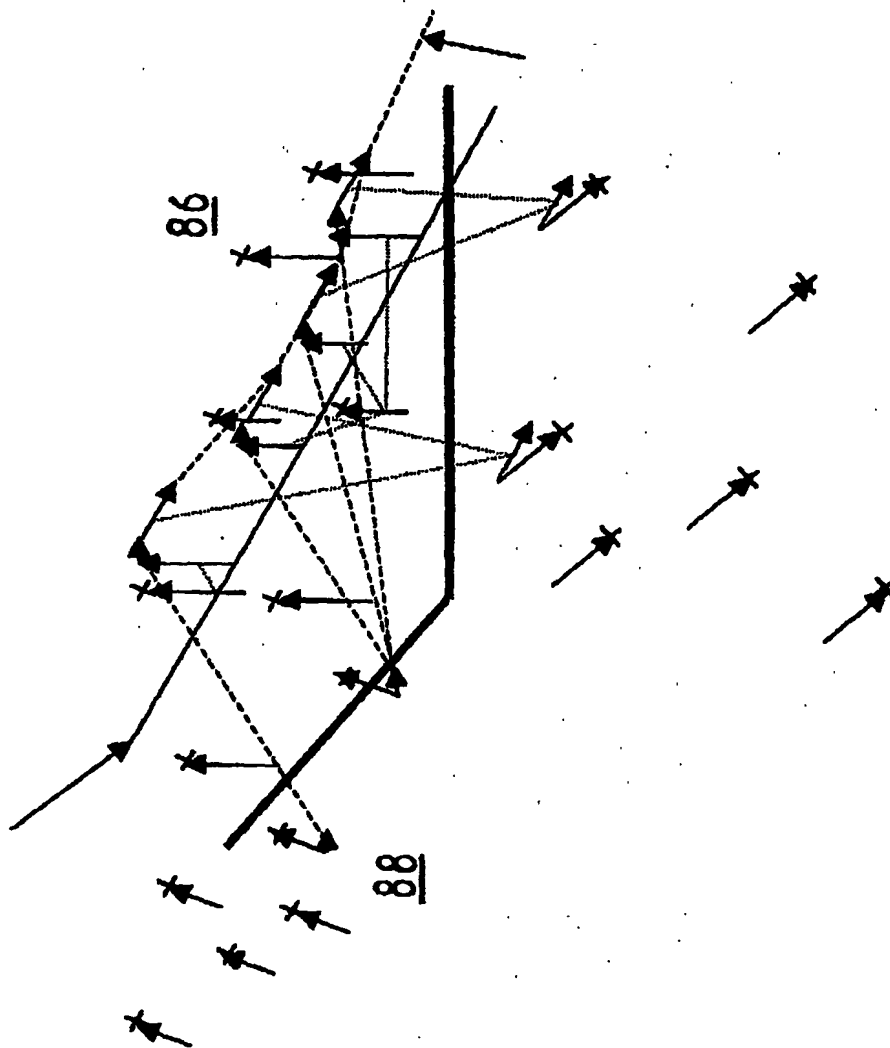


(9/14)



Figur 9

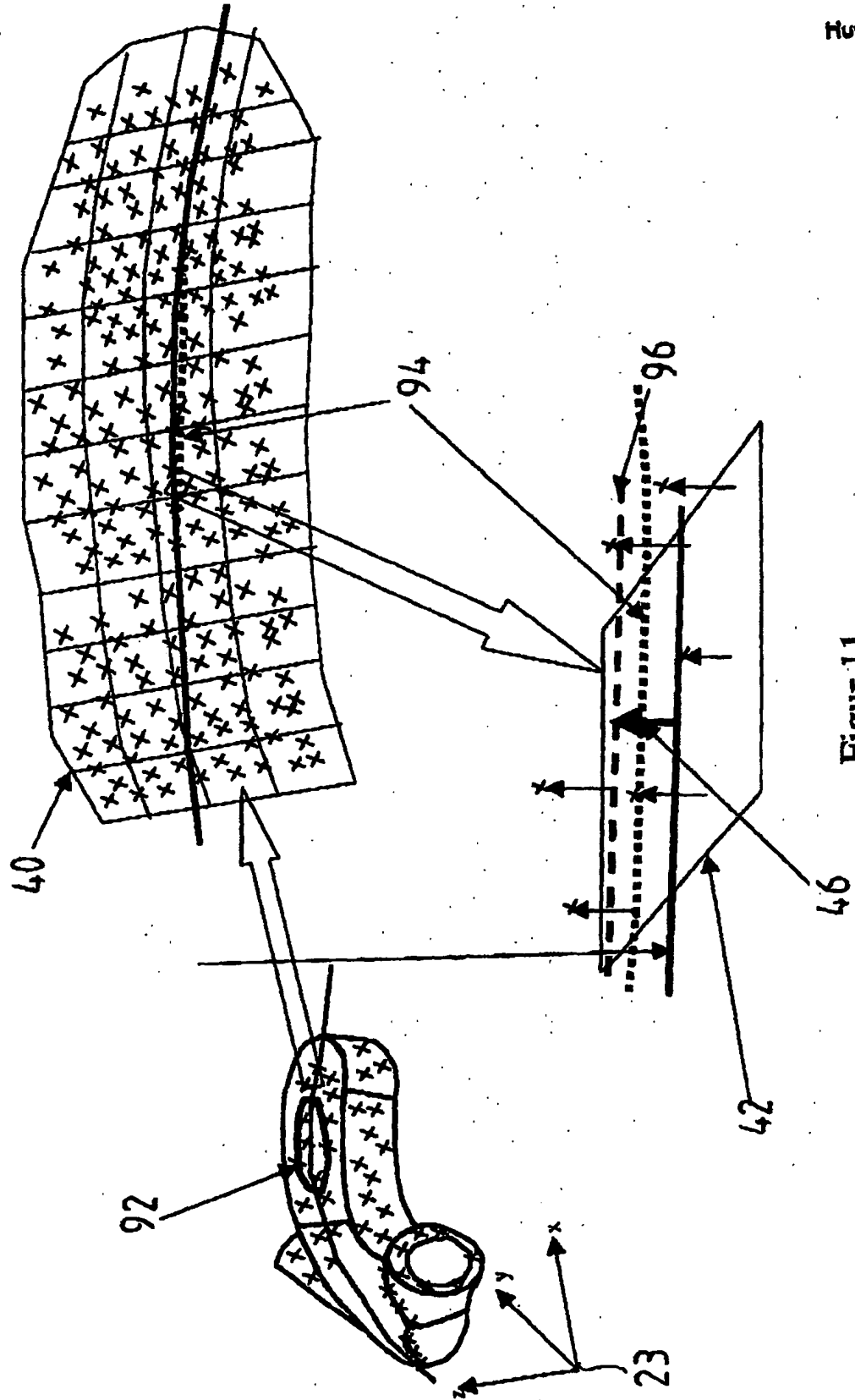
(10/14)



Figur 10

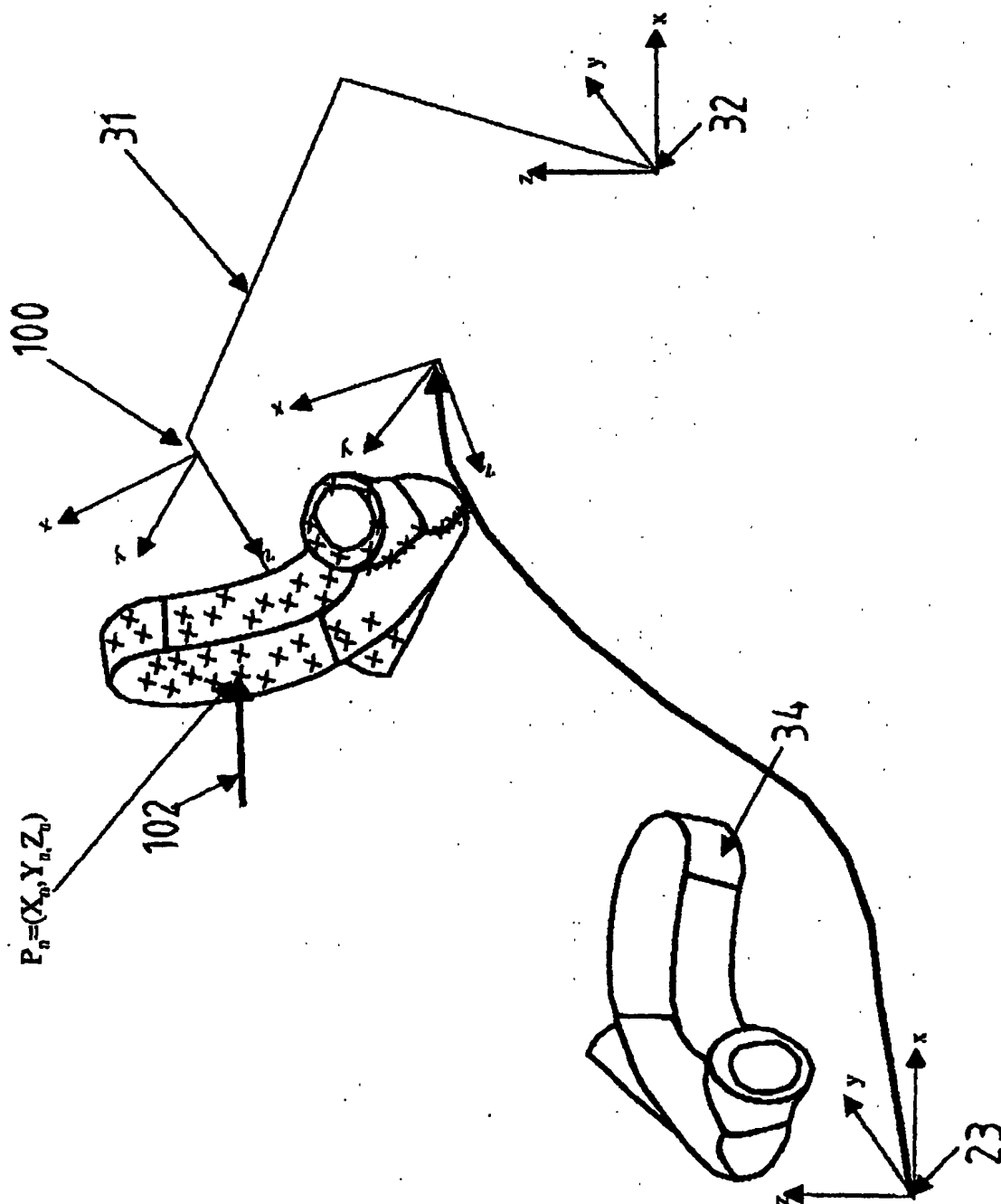
0000000000

(11/14)

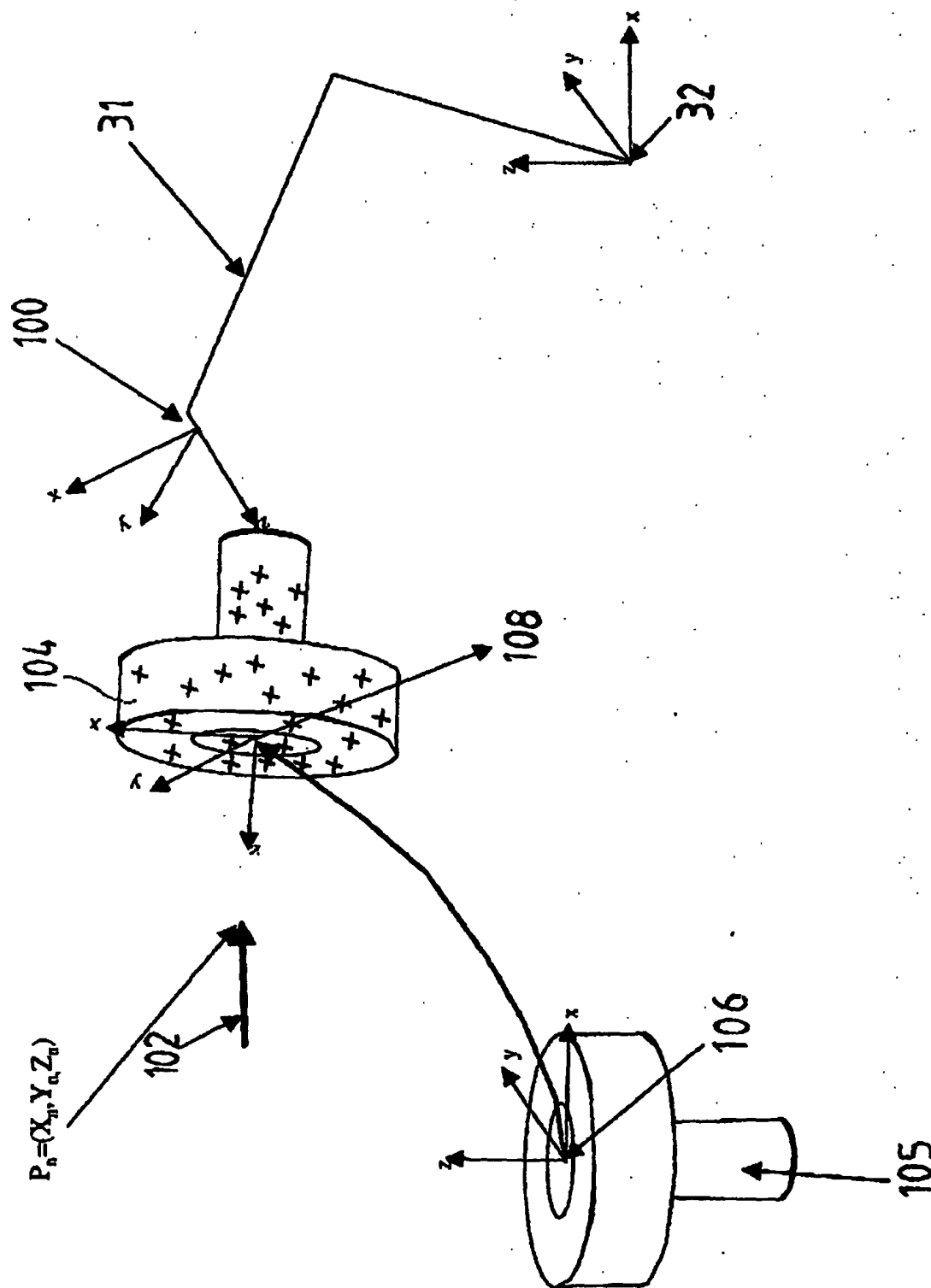


Figur 11

(12/14)



Figur 12

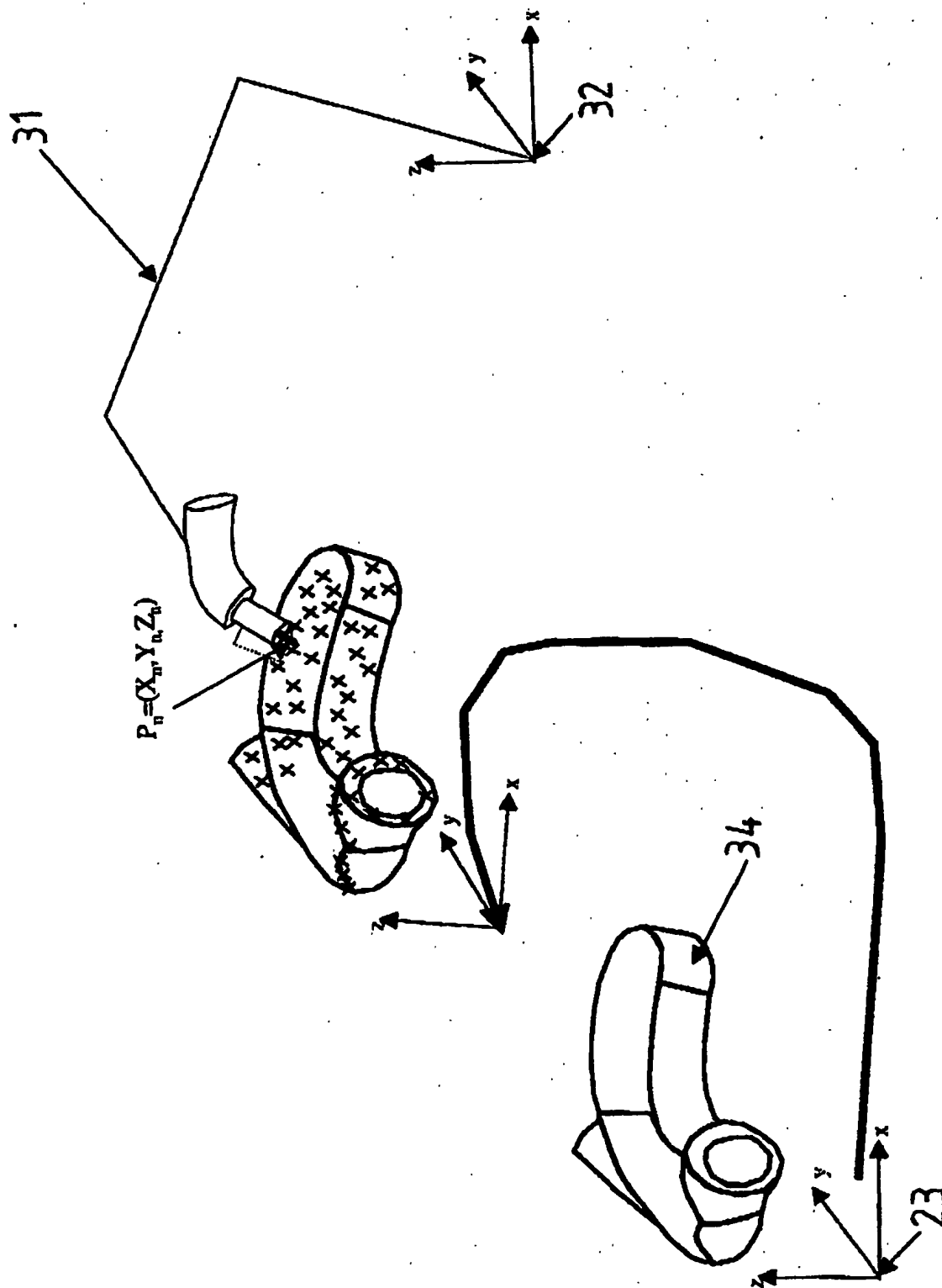


Figur 13

(13/14)

(14/14)

03001603-0



Figur 14

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.